

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 10319266  
PUBLICATION DATE : 04-12-98

APPLICATION DATE : 20-05-97  
APPLICATION NUMBER : 09130143

APPLICANT : FUJIKURA LTD;

INVENTOR : YAMAUCHI RYOZO;

INT.CL. : G02B 6/16 G02B 6/18 // H04B 10/14 H04B 10/135 H04B 10/13 H04B 10/12

TITLE : DISPERSION-COMPENSATED OPTICAL FIBER

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress the occurrence of a non-linear effect, and to effectively transmit light of high in energy density by providing an optical fiber with such characteristics in a specific wavelength range as substantial single mode transmission, a specific wavelength dispersion, a negative value of a dispersion slope, a specific bending loss, and a specific effective core cross-sectional area.

SOLUTION: This dispersion-compensated optical fiber transmits light substantially in a single mode in a 1.55  $\mu\text{m}$  wavelength range, and has a chromatic dispersion of -100 ps/nm/km, having a negative value of the dispersion slope, a bending loss of 1.0 db/m or less, and an effective core cross-sectional area of 20-50  $\mu\text{m}^2$ . Further, it is desirable to design this dispersion-compensated optical fiber so that its absolute value of the wavelength dispersion becomes 0.5 ps/nm or less in the wavelength range of 1.55  $\mu\text{m}$  obtained at the time of combining a dispersion-compensated optical fiber with a single mode optical fiber which has almost zero wavelength dispersion in 1.3  $\mu\text{m}$  wavelength range to be compensated with this dispersion-compensated optical fiber.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成10年(1998)12月4日

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯において、実質的にシングルモード伝搬となり、波長分散が $-100\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下であり、かつ分散スロープが負の値をもち、かつ曲げ損失が $1.0\text{dB}/\text{m}$ 以下であり、かつ有効コア断面積が $20\sim 50\mu\text{m}^2$ であることを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項2】 請求項1記載の分散補償光ファイバが、中心コア部と、該中心コア部の外周に設けられた中心コア部よりも低屈折率の中間部と、該中間部の外周に設けられた該中間部よりも高屈折率で、かつ前記中心コア部よりも低屈折率のリング状のリングコア部と、該リングコア部の外周に設けられた該リングコア部よりも低屈折率で前記中間部よりも高屈折率のクラッドとからなるリング付プロファイルを有するものであることを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項3】 請求項2記載の分散補償光ファイバにおいて、中心コア部の外径を $2a$ 、リングコア部の内径を $2b$ 、リングコア部の幅を $w$ 、クラッドと中間部との比屈折率差を $\Delta d$ 、クラッドとリングコア部との比屈折率差を $\Delta e$ としたとき、 $b/a \geq 2.5$ で、 $w/a \geq 0.5$ で、 $\Delta d$ が $0.3\sim 0.7\%$ で、 $\Delta e$ が $0.3\sim 1.0\%$ であることを特徴とする分散補償光ファイバ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は分散補償光ファイバに係り、特に光ファイバを用いた光通信システムにおいて問題となる非線形効果の発生を抑制できるようにした分散補償光ファイバに関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年光増幅技術の進歩に伴い、エルビウム添加光ファイバ増幅器をシステムの前段、後段あるいは中途に挿入して用いることによって、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯において、伝送光の強度を増大させてよりいっそうの長距離伝送を行うことが検討されている。例えば、超長距離無再生中継、光加入者多分配網などの光増幅器を用いた光通信システムが実用化にむけて盛んに検討されている。これらの伝送線路としては、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯において波長分散が実質的にゼロとなる特性を有する分散シフト光ファイバが好適である。しかしながら波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯における分散が小さいと、特に光ファイバ内の伝送光のエネルギー密度が大きい場合には非線形効果が発生し、伝送特性が劣化するなどの不都合が生じることがある。

【0003】このため非線形効果を抑制する方法として、通常の波長 $1.3\mu\text{m}$ 帯において波長分散がほとんどゼロであるシングルモード光ファイバ（以下 $1.3\mu\text{m}$ SMFと記す）と分散補償光ファイバとを組み合わせて波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯で伝送する方法が提案されている。

【0004】すなわち例えば $1.3\mu\text{m}$ SMFの波長分

散は、 $1.55\mu\text{m}$ 帯において概略 $+17\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ （正の分散値）程度なので、これを用いて波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の光通信を行うと大きな波長分散を生じることになる。これに対して分散補償光ファイバとは、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯で絶対値が比較的大きい負の波長分散を有し、比較的短い使用長さで例えば数 $\text{km}$ 以上の通常の $1.3\mu\text{m}$ SMFで生じた波長分散を打消すことができるものである。

【0005】そして分散補償光ファイバを、通常の $1.3\mu\text{m}$ SMFを用いた光通信システムに挿入して用いれば、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯で光通信を行っても光通信システム全体における波長分散量をほとんどゼロにすることが可能である。よって、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の光通信システムにおける非線形効果の発生を抑制することができる。

【0006】このため分散補償光ファイバとしては、低損失で、比較的長さが短い場合に波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯において比較的大きな負の波長分散をもつ必要がある。さらに $1.3\mu\text{m}$ SMFの波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯における分散スロープは $+0.07\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 程度（正の値）なので、この分散スロープもあわせて補償するためには負の分散スロープを有する必要がある。このように分散スロープを補償することができると、波長多重伝送（WDM伝送）のように波長の異なる複数のパルス光を伝送する用途にも使用することができる。

【0007】分散補償光ファイバとしては、例えば単峰型の屈折率プロファイル（以下単峰型プロファイルと記す）を有する光ファイバや、W型の屈折率プロファイル（以下W型プロファイルと記す）を有する光ファイバなどいくつかの提案がなされている。

【0008】図3は単峰型プロファイルの一例を示したものであり、中心にコア11が位置し、その外周にこのコア11よりも低屈折率のクラッド12が設けられて構成されている。前記コア11は例えば $\text{GeO}_2$ （酸化ゲルマニウム）添加 $\text{SiO}_2$ （石英）からなり、クラッド12は純 $\text{SiO}_2$ からなるものである。 $\Delta f_1$ はコア11とクラッド12との比屈折率差である。このような単峰型プロファイルを有する分散補償光ファイバは、 $\Delta f_1$ が比較的大きく、負の波長分散を有し、 $1.3\mu\text{m}$ SMFの波長分散を補償することができるように設計されているが、分散スロープは負の値をもたず、 $1.3\mu\text{m}$ SMFの分散スロープを補償することはできない。しかし、製造法が比較的簡単で、単位損失あたりの波長分散量を大きくすることができるという特性を有している。

【0009】図4はW型プロファイルの一例を示したもので、中心に位置する中心コア部21aと、その外周に設けられ、この中心コア部21aよりも低屈折率の中間部21bと、この中間部21bの外周に設けられ、この中間部21bよりも高屈折率で、かつ前記中心コア部21aよりも低屈折率のクラッド22からなるものであ

る。

【0010】前記中心コア部21aは例えばGeO<sub>2</sub>添加SiO<sub>2</sub>からなり、中間部21bはF(フッ素)添加SiO<sub>2</sub>からなり、クラッド22は純SiO<sub>2</sub>からなるものである。また2a<sub>2</sub>は中心コア部21aの外径(a<sub>2</sub>は外径の1/2を示す)、2b<sub>2</sub>は中間部21bの外径(b<sub>2</sub>は外径の1/2を示す)、Δd<sub>2</sub>はクラッド22と中間部21bとの比屈折率差、Δf<sub>2</sub>はクラッド22と中心コア部21aとの比屈折率差を示す。このW型プロファイルを有する光ファイバは負の波長分散を有し、1.3μm SMFに対して波長分散を補償できるとともに、分散スロープは負の値を有するので、分散スロープの補償ができるものである。そのため分散補償可能な波長領域が比較的広いものとして近年開発されたものである。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】ところで、一般に使用されている分散補償光ファイバにおいても、入射する伝送光のエネルギー密度があるしきい値をこえると自己位相変調、相互位相変調、4光子混合、誘導ラマン散乱、誘導ブリュアン散乱などの非線形効果が発生し、伝送劣化が生じることが知られている。特に超長距離無再生中継、光加入者多分配網などの光増幅器を用いた光通信システムにおいては、中継器に高出力光ブースターアンプなどが用いられているので、高エネルギー密度の伝送光がこれらの光通信システムに用いられている分散補償光ファイバに入射することがあり、伝送劣化の原因となる。

【0012】非線形効果の大きさは以下の式で表される。

$$n_2/A_{eff}$$

ここでn<sub>2</sub>は光ファイバの非線形屈折率、A<sub>eff</sub>は光ファイバの有効コア断面積である。すなわち非線形効果を低減するためにはn<sub>2</sub>を小さくするか、A<sub>eff</sub>を大きくすればよい。

【0013】しかしながらn<sub>2</sub>は材料固有の値であり、SiO<sub>2</sub>に対するGeO<sub>2</sub>やFなどのドーパントの添加量を減らすと小さくすることができるが、分散補償光ファイバとして好ましい波長分散、分散スロープなどの条件を満足すると同時にn<sub>2</sub>の値を小さくすることができるものを設計することは難しい。また、A<sub>eff</sub>を大きくするのは有効な方法であるが、やはり分散補償光ファイバとして好ましい波長分散、分散スロープなどの条件を満足するとともにA<sub>eff</sub>を拡大したものを設計するのは従来困難とされている。例えば従来の分散補償光ファイバは、その波長分散、分散スロープなどの条件を満足するために、一般に伝送用の光ファイバと比べてA<sub>eff</sub>の値が小さく、10~20μm<sup>2</sup>程度となっており非線形効果が生じやすくなっている。また、上述のW型プロファイルを有する分散補償光ファイバなどの開発にお

いては、単位損失あたりの波長分散量、いわゆる性能指数(FOM)の値の向上と、分散スロープの補償に主眼がおかれており、非線形効果を低減するための検討が十分になされていないのが現状である。

【0014】このため、高エネルギー密度の光を低損失で効率よく伝送するために、非線形効果の発生を抑制することができる分散補償光ファイバが求められている。本発明は前記事情に鑑みてなされたもので、分散補償光ファイバにおける非線形効果の発生を抑制して高エネルギー密度の光を有効に伝送できる分散補償光ファイバを提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために本発明の分散補償光ファイバは、波長1.55μm帯において、実質的にシングルモード伝搬となり、波長分散が-100ps/nm・km以下であり、かつ分散スロープが負の値をもち、かつ曲げ損失が1.0dB/m以下であり、かつ有効コア断面積(A<sub>eff</sub>)が20~50μm<sup>2</sup>であることを特徴とするものである。このとき上述の条件を満足したうえで、波長分散と分散スロープについては、さらに以下の条件を満足するように設計すると好ましい。すなわち分散補償光ファイバによって補償される対象となる1.3μm SMFと分散補償光ファイバとを組み合わせたときの波長1.55μm帯における波長分散の絶対値が0.5ps/nm以下となるようにする。

【0016】また、この分散補償光ファイバは、中心コア部と、この中心コア部の外周に設けられた中心コア部よりも低屈折率の中間部と、この中間部の外周に設けられたこの中間部よりも高屈折率で、かつ前記中心コア部よりも低屈折率のリング状のリングコア部と、このリングコア部の外周に設けられたこのリングコア部よりも低屈折率で前記中間部よりも高屈折率のクラッドとからなるリング付プロファイルを有するものであると好ましい。さらにこのリング付きプロファイルにおいて、中心コア部の外径を2a、リングコア部の内径を2b、リングコア部の幅をw、クラッドと中間部との比屈折率差をΔd、クラッドとリングコア部との比屈折率差をΔeとしたとき、b/a≥2.5で、w/a≥0.5で、Δdが0.3~0.7%で、Δeが0.3~1.0%であると好ましい。

【0017】

【発明の実施の形態】以下本発明を詳細に説明する。本発明において波長1.55μm帯とは波長1530nmから1580nmの波長領域を指すものである。波長1.55μm帯において、波長分散が-100ps/nm・kmよりも大きく、ゼロに近い場合には、分散補償光ファイバの使用長さが長くなるなどの不都合がある。また、波長1.55μm帯において分散スロープが負の値を有することによって1.3μm SMFの分散スロー

ブを補償することができる。

【0018】そしてこれらの波長分散と分散スロープの条件を満足したうえで、補償対象の1.3 $\mu$ m SMFと分散補償光ファイバとを組み合わせたときの全体の波長1.55 $\mu$ m帯における波長分散の絶対値が、前記1.3 $\mu$ m SMFの波長分散と分散スロープとが前記分散補償光ファイバによって補償されることによって0.5 ps/nm以下となるように、分散補償光ファイバの波長分散と分散スロープを調整して設計する。これらを組み合わせて得られる波長分散が0.5 ps/nm以下であると伝送劣化が生じにくく、好ましい伝送特性が得られる。

【0019】つまり、光通信システムなどに用いられる1.3 $\mu$ m SMFの長さ、分散値、分散スロープなどの条件は用途などによって様々なので、補償対象の1.3 $\mu$ m SMFの分散値と分散スロープを補償できるように、分散補償光ファイバの分散値と分散スロープを前記1.3 $\mu$ m SMFの条件によって調整する必要がある。つまり分散補償光ファイバの使用長さや波長分散と波長スロープの値は、補償対象の1.3 $\mu$ m SMFの使用長さ、波長分散、波長スロープの値によって定められる。

【0020】例えば波長1.55 $\mu$ m帯における波長分散が+17 ps/nm/kmで、分散スロープが+0.07 ps/nm<sup>2</sup>/kmの1.3 $\mu$ m SMFを10 km使用したとき、分散補償光ファイバの波長1.55 $\mu$ m帯における波長分散が-170 ps/nm/km程度であれば、この分散補償光ファイバを1 km用いることによって前記1.3 $\mu$ m SMFの波長分散を補償することができる。このとき1.3 $\mu$ m SMFの分散スロープを同時に補償するためには、この分散補償光ファイバの分散スロープは-0.7 ps/nm<sup>2</sup>/km程度である必要がある。

【0021】また、有効断面積A<sub>eff</sub>は、下記関係式で定義されるものである。

【0022】

【数1】

$$A_{eff} = \frac{2\pi \left\{ \int_0^\infty r |E(r)|^2 dr \right\}^2}{\int_0^\infty r |E(r)|^4 dr}$$

r: 半径、E(r): 半径rでの電界強度

【0023】曲げ損失は波長1.55 $\mu$ mで曲げ直径(2R)が20 mmの条件の値をいうものとする。

【0024】A<sub>eff</sub>が20 $\mu$ m<sup>2</sup>未満では非線形効果の低減が十分ではなく、50 $\mu$ m<sup>2</sup>を超えるものは実際に製造することが難しい。また、曲げ損失が1.0 dB/mをこえると、分散補償光ファイバのわずかな湾曲によっても損失が大きくなるため好ましくない。さらに、

分散補償光ファイバは、通常1.3 $\mu$ m SMFを補償するものなので、波長1.55 $\mu$ m帯の実際の使用状態において常にシングルモード伝搬を行う必要がある。このためにカットオフ波長は、実際の使用状態において実質的にシングルモード伝搬を保証するものでなければならない。カットオフ波長はCCITTの2m法、もしくは実際の使用状態において測定された値をいうものとする。

【0025】このような特性値を満たす分散補償光ファイバは、光通信システムなどにおいて補償対象となる1.3 $\mu$ m SMFと組み合わせるときに、その波長分散と分散スロープを十分に補償することができ、曲げ損失が小さく、非線形効果が発生しにくく、低損失の分散補償光ファイバとなる。

【0026】本発明の分散補償光ファイバが上述の特性を有するための第1の条件は、図1に示す屈折率プロファイルを有することである。図中符号31aは中心コア部であり、この中心コア部31aの外周に、この中心コア部31aよりも低屈折率の中間部31bが設けられ、さらにこの中間部31bの外周に、この中間部31bよりも高屈折率で、かつ前記中心コア部31aよりも低屈折率のリングコア部31cが設けられ、さらにこのリングコア部31cの外周に、このリングコア部31cよりも低屈折率で、かつ前記中間部31bよりも高屈折率のクラッド32が設けられている。以下このような屈折率プロファイルをリング付きプロファイルとよぶ。

【0027】前記中心コア部31aとリングコア部31cは、例えばGeO<sub>2</sub>添加SiO<sub>2</sub>からなり、GeO<sub>2</sub>の添加量によって屈折率が調整されている。中間部31bは、例えばF添加SiO<sub>2</sub>からなり、クラッド32は純SiO<sub>2</sub>からなるものである。また、2aは中心コア部31aの外径(aは外径の1/2を示す)、2bはリングコア部31cの内径(bは内径の1/2を示す)、wはリングコア部31cの幅、Δdはクラッド32と中間部31bとの比屈折率差、Δeはクラッド32とリングコア部31cとの比屈折率差、Δfはクラッド32と中心コア部31aとの比屈折率差を示す。

【0028】第2の条件は、図1に示したリング付きプロファイルにおいて、b/a ≥ 2.5で、かつw/a ≥ 0.5であることである。b/aが2.5未満でw/aが0.5未満であると、リング付プロファイルとしたことによる効果が得られず、A<sub>eff</sub>を大きくすることができない。リング付プロファイルであって、b/a ≥ 2.5かつw/a ≥ 0.5とすることで、A<sub>eff</sub>が大きく、しかも曲げ損失が小さいという領域が初めて形成される。

【0029】また反対に、これらの比をあまり大きくしても、リング付プロファイルとしたことによる効果が得られず、単峰型プロファイルとした場合に近い特性を示すようになり、A<sub>eff</sub>を大きくすることができない。

このため、実用上、 $b/a$ の上限値は約5とされ、 $w/a$ の上限値は約2とされる。

【0030】 $b/a$ と $w/a$ を上述の範囲に定めておき、さらに $\Delta d$ と $\Delta e$ を適宜定めて所望の特性を有する分散補償光ファイバを設計する。このような手順により、 $A_{eff}$ が大きく、曲げ損失が小さく、かつ上述の波長分散、分散スロープの条件を満たす本発明の分散補償光ファイバを得ることができる。このとき $\Delta f$ は通常、2.5%程度とされる。また、実験的に $\Delta d$ の範囲は0.3~0.7%であり、 $\Delta e$ の値は0.3~1.0%であることがわかっている。

【0031】しかしながら $\Delta d$ および $\Delta e$ の好適な値は、先に定める $b/a$ および $w/a$ の値によって大きく変化し、上述の実験的に求めた $\Delta d$ と $\Delta e$ の範囲内であっても本発明の分散補償光ファイバの特性を有するものが得られるとは限らない。このような観点から、本発明では分散補償光ファイバの構造パラメータの値のみによって発明を特定することが困難であり、特性値によってその特定を行うようにしたものである。そして、かかる特性値は、従来知られている分散補償光ファイバでは取り得ないものであることは言うまでもない。

【0032】本発明の分散補償光ファイバは、通常のVAD法とOVD法との組み合わせや、MCVD法などによって製造できる。リング付プロファイルでは、リングコア部31cの存在により伝送光の光パワーの電界強度分布がクラッド32側に長く尾を引く形となるため、光ファイバ母材の製造の際に、クラッドとなるスートのか

りの部分を中心のコアとなるスートと同時に一括して合成する方法をとることが望ましい。

【0033】このように本発明の分散補償光ファイバは、図1に示すリング付きプロファイルにおいて、 $b/a$ 、 $w/a$ 、 $\Delta d$ 、 $\Delta e$ の関係から $a$ 、 $b$ 、 $w$ 、 $\Delta d$ 、 $\Delta e$ という5つの構造パラメータを適切に定めることによって以下のような特性を有するものである。すなわち、波長1.55 $\mu\text{m}$ 帯において、実質的にシングルモード伝搬となり、波長分散が-100ps/nm $\cdot$ km以下であり、かつ分散スロープが負の値をもち、かつ曲げ損失が1.0dB/m以下であり、かつ有効コア断面積( $A_{eff}$ )が20~50 $\mu\text{m}^2$ となるものである。この結果、波長1.55 $\mu\text{m}$ 帯において低損失で、1.3 $\mu\text{m}$ SMFの波長分散と分散スロープを補償することができ、かつ曲げ損失が小さく、非線形効果を抑制することができる。

【0034】

【実施例】

(実施例) 図1に示すリング付きプロファイルの屈折率プロファイルを有する4種類(N $\circ$ 1~4)の分散補償光ファイバを作製し、その特性を評価した。作製したN $\circ$ 1~4の分散補償光ファイバの $b/a$ 、 $w/a$ 、 $\Delta d$ 、 $\Delta e$ と、光学特性を表1に示す。表1に示すカットオフ波長( $\lambda_c$ )はCITTの2m法によって測定した値である。またMFDはモードフィールド径を示す。

【0035】

【表1】

No	b/a	w/a	$\Delta d$	$\Delta e$	損失 dB/km @1550nm	分散値 ps/nm/km @1550nm	分散 スロープ ps/nm <sup>2</sup> /km	MFD $\mu\text{m}$ @1550nm	$\lambda_c$ $\mu\text{m}$	FOM ps/nm/km @1550nm	$A_{eff}$ $\mu\text{m}^2$ @1550nm
1	3.5	1.0	-0.45	0.5	0.70	-195	-0.706	5.1	1.45	279	26.6
2	3.5	0.5	-0.45	1.0	0.60	-114	-0.413	5.9	1.32	190	40.0
3	3.0	0.5	-0.45	1.0	0.60	-127	-0.460	5.0	1.36	212	24.1
4	3.0	1.0	-0.45	0.5	0.65	-126	-0.456	5.6	1.37	194	32.3

測定値は、1.55 $\mu\text{m}$ 。

【0036】表1より、本発明に係る実施例N $\circ$ 1~4の分散補償光ファイバは、全てFOMは200ps/nm $\cdot$ dB前後の値が得られ、 $A_{eff}$ を20 $\mu\text{m}^2$ 以上に拡大することができることがわかる。また損失はいずれも0.7dB/km以下で、比較的小さいものである。また曲げ損失はいずれも1.0dB/m以下となった。

【0037】さらに、図2はN $\circ$ 1の分散補償光ファイバによって1.3 $\mu\text{m}$ SMFを補償した際の、波長1500~1600 $\mu\text{m}$ の範囲における波長分散を示したものである。図中曲線Aは1.3 $\mu\text{m}$ SMF11.77kmの波長分散を示し、曲線BはN $\circ$ 1の分散補償光ファイバ1kmの波長分散を示し、曲線Cは1.3 $\mu\text{m}$ SMF11.77kmをN $\circ$ 1の分散補償光ファイバ1km

で補償したときの波長分散を示したものである。図2より、N $\circ$ 1の分散補償光ファイバは1.3 $\mu\text{m}$ SMFを広範囲の波長域で補償して波長分散をほとんどゼロにすることができることがわかる。

【0038】N $\circ$ 2~4の分散補償光ファイバにおいても同様に1.3 $\mu\text{m}$ SMFを補償したときの波長分散を測定した。N $\circ$ 2の分散補償光ファイバにおいては、1.3 $\mu\text{m}$ SMF6.88kmをN $\circ$ 2の分散補償光ファイバ1kmで補償したときの波長分散を測定した。N $\circ$ 3の分散補償光ファイバにおいては、1.3 $\mu\text{m}$ SMF7.66kmをN $\circ$ 3の分散補償光ファイバ1kmで補償したときの波長分散を測定した。N $\circ$ 4の分散補償光ファイバにおいては、1.3 $\mu\text{m}$ SMF7.60kmをN $\circ$ 4の分散補償光ファイバ1kmで補償した

ときの波長分散を測定した。いずれも図2に示したグラフと同等の結果が得られた。

【0039】したがって、本発明に係る実施例No.1～4の分散補償光ファイバは、低損失で、曲げ損失が小さく、1.3  $\mu\text{m}$  SMFを比較的広範囲の波長域において補償して波長分散をほとんどゼロにすることができると同時に、 $A_{\text{eff}}$ を拡大することができるので非線形効

果を抑制することができることが確認できた。

【0040】(比較例1) 図3に示す単峰型プロファイルを有する従来の分散補償光ファイバを作製した。このとき $\Delta f_1$ は2.5%とした。得られた分散補償光ファイバの光学特性を表2に示す。

【0041】

【表2】

ファイバ構造	単峰型
損失	0.37 dB/km
分散値	-0.75 ps/nm/km
分散スロープ	+0.13 ps/nm <sup>2</sup> /km
MFD	5.0 $\mu\text{m}$
FOM (性能指数)	202 ps/nm/dB
$A_{\text{eff}}$	19 $\mu\text{m}^2$

測定値は1.55  $\mu\text{m}$

【0042】表2より、FOMは200 ps/nm/dBをこえる値が得られたが、 $A_{\text{eff}}$ は19  $\mu\text{m}^2$ と小さいため、非線形効果を抑制することは難しいことがわかる。

【0043】(比較例2) 図4に示すW型の屈折率プロ

ファイルに有する分散補償光ファイバを作製した。このとき $2a_2$ は2.5、 $2b_2$ は6.3、 $\Delta d_2$ は0.35、 $\Delta f_2$ は2.5とした。光学特性を表3に示す。

【0044】

【表3】

ファイバ構造	W型
損失	0.45 dB/km
分散値	-120 ps/nm/km
分散スロープ	-0.49 ps/nm <sup>2</sup> /km
MFD	4.4 $\mu\text{m}$
FOM (性能指数)	288 ps/nm/dB
$A_{\text{eff}}$	15 $\mu\text{m}^2$

測定値は1.55  $\mu\text{m}$

【0045】表3より、FOMは200 ps/nm/dB前後の値が得られた。また、実施例と同様にして1.3  $\mu\text{m}$  SMF 7.06 kmをこの分散補償光ファイバ1 kmによって補償した際の、波長1500～1600  $\mu\text{m}$ の範囲における波長分散を測定したところ、波長分散はほとんどゼロで、図2に示したグラフと同等の結果が得られた。しかし、 $A_{\text{eff}}$ は15  $\mu\text{m}^2$ と小さいため、非線形効果を抑制することは難しいことがわかる。

【0046】

【発明の効果】本発明の分散補償光ファイバにおいては、屈折率プロファイルと、構造パラメータを適切に定めて設計することによって、波長1.55  $\mu\text{m}$ 帯において、実質的にシングルモード伝搬となり、波長分散が-100 ps/nm/km以下であり、かつ分散スロープが負の値をもち、かつ曲げ損失が1.0 dB/m以下であり、かつ有効コア断面積( $A_{\text{eff}}$ )が20～50  $\mu\text{m}^2$ となるものである。

【0047】この結果、波長1.55  $\mu\text{m}$ 帯において、低損失で、1.3  $\mu\text{m}$  SMFの波長分散と分散スロープを補償することができ、かつ曲げ損失が小さいものであ

る。そして、同時に有効コア断面積を拡大することができることから非線形効果を抑制することができる。したがって、高エネルギー密度の光が入射しても非線形効果を抑制することができるので、超長距離無再生中継、光加入者多分配網などの光増幅器を用いた光通信システムに使用しても伝送劣化を抑制することができ、有効に光を伝送することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の分散補償光ファイバの屈折率プロファイルであるリング付プロファイルの一例を示す図である。

【図2】 実施例No.1の分散補償光ファイバを用いて1.3  $\mu\text{m}$  SMFを補償したときの波長分散を示すグラフである。

【図3】 従来の分散補償光ファイバに用いられる単峰型の屈折率プロファイルを示す図である。

【図4】 従来の分散補償光ファイバに用いられるW型の屈折率プロファイルを示す図である。

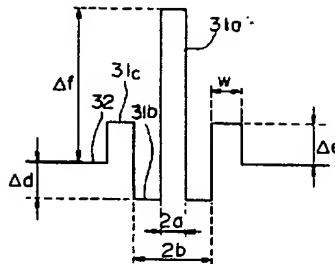
【符号の説明】

31a…中心コア部、31b…中間部、31c…リング

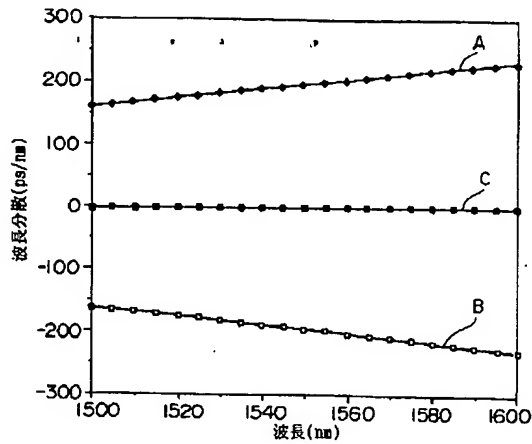
コア部、32…クラッド、2a…中心コア部の外径（a…外径の1/2）、2b…リングコア部の内径（b…内径の1/2）、w…リングコア部の幅、 $\Delta d$ …クラッド

と中間部との比屈折率差、 $\Delta e$ …クラッドとリングコア部との比屈折率差、 $\Delta f$ …クラッドと中心コア部との比屈折率差

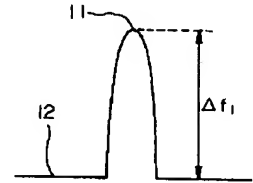
【図1】



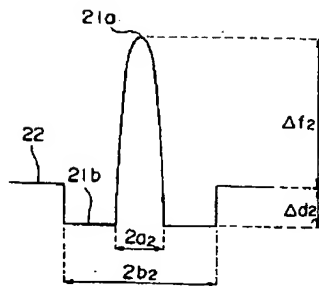
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. C

H04B 10/12

識別記号

F I

(72) 発明者 和田 朗

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉工場内

(72) 発明者 山内 良三

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉工場内